



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07019832 A**(43) Date of publication of application: **20.01.95**

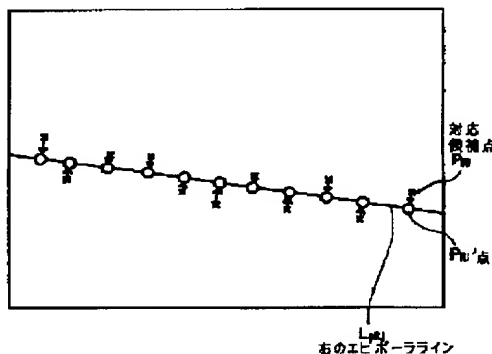
(51) Int. Cl.

**G01B 11/24****G01C 3/06****G06T 7/20**(21) Application number: **05149302**(22) Date of filing: **21.06.93**(71) Applicant: **CANON INC**(72) Inventor:  
**INOUCHI KAZUTAKA**  
**IJIMA KATSUMI**  
**MORI KATSUHIKO****(54) EXTRACTING METHOD FOR CORRESPONDING  
POINTS OF PURITY OF IMAGES****(57) Abstract:**

**PURPOSE:** To improve reliability and to shorten processing time by displaying the group of candidate corresponding points on the straight line representing the group of the candidate corresponding points after the group thereof is obtained.

**CONSTITUTION:** The corresponding point on another image corresponding to a plurality of points on an epi-polar line, which is extracted from one arbitrary image out of a plurality of images, are extracted. At this time, after the group of candidate corresponding points is obtained, the straight line representing the obtained group of the candidate corresponding points is obtained, and the group of the candidate corresponding points is moved to the straight line. Namely, the right epi-polar line  $L_{eR_j}$ , where the corresponding points should be intrinsically obtained, is obtained by computation. The candidate corresponding point  $PR_j$ , which is obtained on the right-side image by a conventional corresponding-point extracting method, is moved to a point  $PR'_j$  at the shortest distance on the obtained right epi-polar line  $L_{eR_j}$ . Thus, the corresponding relation between a plurality of images is accurately obtained in comparison with a template matching method. Therefore, the corresponding relation at the accuracy of sub-image can be obtained, and the reliability is improved.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO



BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-19832

(43) 公開日 平成7年(1995)1月20日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/24	K	9108-2F		
G 0 1 C 3/06	V	9008-2F		
G 0 6 T 7/20		8837-5L	G 0 6 F 15/ 70	4 0 5

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願平5-149302

(22) 出願日 平成5年(1993)6月21日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 猪口 和隆

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72) 発明者 飯島 克己

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72) 発明者 森 克彦

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

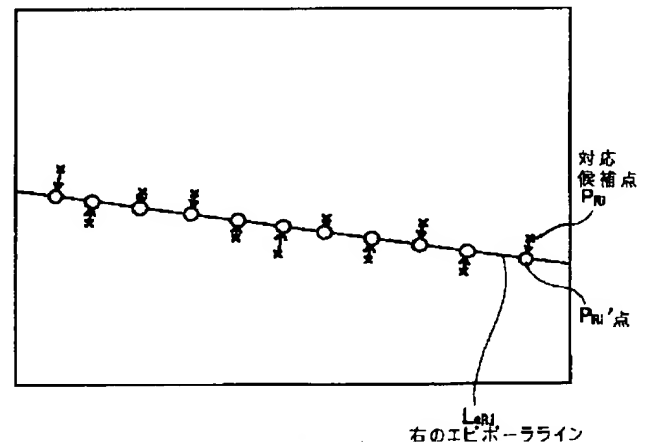
(74) 代理人 弁理士 若林 忠

(54) 【発明の名称】 複数画像の対応点抽出方法

(57) 【要約】

【目的】 複数画像の対応点抽出方法を、信頼性の向上および処理時間の短縮化を図れるようにする。

【構成】 本発明の第1の複数画像の対応点抽出方法では、対応点が本来得られるべき右のエピポーラライン  $L_{arj}$  を計算により求めて、従来の対応点抽出方法によって右側画像上に得られた対応候補点  $P_{ri}$  を前記求めた右のエピポーラライン  $L_{arj}$  上の最短距離の点  $P_{ri}'$  (図1に○印で示す点) に移すことにより、複数画像の対応点抽出を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の画像のうちの任意の一つの画像から抽出したエピポーライン上の複数の点に対する前記複数の画像のうちの他の画像上における対応点の抽出を行う際に、対応候補点群を求めたのち、該求めた対応候補点群を代表する直線を求め、該求めた直線上に前記対応候補点群を移すことを特徴とする複数画像の対応点抽出方法。

【請求項 2】 前記直線上に前記対応候補点群を移す際に、該直線との間の距離が所定のしきい値よりも小さい対応候補点のみ移し、該直線との間の距離が所定のしきい値よりも大きい対応候補点を除去することを特徴とする請求項 1 記載の複数画像の対応点抽出方法。

【請求項 3】 前記対応候補点群を求める際に、前記複数の画像からそれぞれ抽出した複数のエピポーラインから形成される視差画面上の各交点で、該複数の画像の実画素に基づく興奮性結合および抑制性結合をもつ局所演算を行うことにより視差ラインを得て、該複数の画像の対応点を抽出する複数画像の対応点抽出方法を用いることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の複数画像の対応点抽出方法。

【請求項 4】 複数の画像からそれぞれ抽出した複数のエピポーラインから形成される視差画面上の各交点で、該複数の画像の実画素に基づく興奮性結合および抑制性結合をもつ局所演算を行うことにより視差ラインを得て、該複数の画像の対応点を抽出する複数画像の対応点抽出方法において、協調法以外の方法により対応候補点群を予め求め、該求めた対応候補点群を用いて前記協調法により初期画面の作成を行うことを特徴とする複数画像の対応点抽出方法。

【請求項 5】 前記対応候補点群を予め求めるための方法として、テンプレートマッチング法を用いたことを特徴とする請求項 4 記載の複数画像の対応点抽出方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、複数画像の対応点抽出方法に関し、特に、複数の画像からそれぞれ抽出した複数のエピポーラインから形成される視差画面上の各交点で、複数の画像の実画素に基づく興奮性結合および抑制性結合をもつ局所演算を行うことにより視差ラインを得て、複数の画像の対応点を抽出する複数画像の対応点抽出方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】複眼撮像系を用いた画像処理技術としては、一般に、三角測量を用いた 3 次元情報抽出方式および高精細画像合成方式などが知られている。ここで、高精細画像合成方式は、高解像度の手法として、

(1) 固体撮像素子をスイングさせて空間的に解像度を上げる方法

(2) 入力光を分割して、複数の固体撮像素子で画像の

一部分を撮像し、領域合成する方法

(3) 複屈折による光学的シフトを用いる方法などを用いるものである。

【0003】しかし、上記 (1) ~ (3) の方法はいずれも、入力してくる光を時空間的に分割するものであり、SN 比の低下をもたらす。そこで、既存の 2 つ撮像素子を用いて高解像度を図る方式、および、異なる角度から撮影した 2 つの画像から高精細画像を生成する方式について、本発明者らは提案している。高精細画像を得る方式は、

(1) 各画像の対応関係を推定し、対応する位置に値を入れる処理

(2) 上記 (1) によってずれをもった形で入れた画素から、等間隔でサンプリングされたように（あたかも高解像な撮像素子で取得したように）変換する処理の 2 つの分けられる。このうち、上記 (1) の処理に相当する部分は、両眼立体視法の際の対応点抽出の問題と同様の処理として考えることができる。

【0004】図 18 は、距離画像を求めるために用いられる三角測量を説明するための図である。なお、以下の説明では、特記しない限り、右側カメラおよび左側カメラのセンサがそれぞれボジ面に置かれた状態で図示する。

【0005】三角測量は、2 つのカメラ（右側カメラおよび左側カメラ）を用いて三次元空間内にある物体（被写体）を撮像した際、この物体上の一点 P の投影点を右側カメラのレンズの中心点  $O_r$ 、および左側カメラのレンズの中心点  $O_l$  としたときの右側カメラのセンサ面  $A_r$  での投影点  $P_r$  と左側カメラのセンサ面  $A_l$  での投影点  $P_l$  とから、この物体上の一点 P の三次元座標を得るものである。ここで、『基線 B』、『基線長  $L_b$ 』、『エピポーラ面（視線面）A』および『エピポーライン（視線像） $L_r$ 、 $L_l$ 』はそれぞれ、以下のように定義される。

(1) 『基線 B』とは、右側カメラのレンズの中心点  $O_r$  と左側カメラのレンズの中心点  $O_l$  とを結ぶ線をいう。

(2) 『基線長  $L_b$ 』とは、基線 B の長さをいう。

(3) 『エピポーラ面 A』とは、物体上の一点 P と投影点  $P_r$  と投影点  $P_l$  との三点を結んでできる平面をいう。

(4) 『エピポーライン（視線像） $L_r$ 』とは、エピポーラ面 A と右側カメラのセンサ面  $A_r$  との交線をいい、『エピポーライン  $L_l$ 』とは、エピポーラ面 A と左側カメラのセンサ面  $A_l$  との交線をいう。

【0006】図 19 に示すように、基線 B の中点を原点 O (0, 0, 0)、基線 B に沿って x 軸、紙面と垂直方向に y 軸（不図示）および基線 B と垂直方向に z 軸をとり、右側カメラのレンズおよび左側カメラのレンズの焦点距離をそれぞれ f とし、物体上の一点 P、投影点  $P_r$



および投影点  $P_L$  の座標をそれぞれ  $(x_P, y_P, z_P)$ ,  $(x_{PL}, y_{PL}, z_{PL})$  および  $(x_{PL}, y_{PL}, z_{PL})$  とする。このとき、右側カメラおよび左側カメラの

$$(x_{PL} + L_B/2) / f = (x_P + L_B/2) / z_P \quad (1.1)$$

$$(x_{PL} - L_B/2) / f = (x_P - L_B/2) / z_P \quad (1.2)$$

$$y_L / f = y_P / f = y / z_P \quad (1.3)$$

$$(L_B + x_{PL} - x_{PR}) / f = L_B / z_P \quad (1.4)$$

がそれぞれ成り立つ。よって、物体上の一点  $P$  の座標  $(x_P, y_P, z_P)$  は、

$$x_P = L_B \cdot \{ (x_{PL} + x_{PR}) / 2 \} / (L_B + x_{PL} - x_{PR}) \quad (2.1)$$

$$y_P = L_B \cdot \{ (y_{PL} + y_{PR}) / 2 \} / (L_B + x_{PL} - x_{PR}) \quad (2.2)$$

$$z_P = L_B \cdot f / (L_B + x_{PL} - x_{PR}) \quad (2.3)$$

より求まる。

【0007】また、右側カメラおよび左側カメラの光軸

$$(x_{PL} + L_B/2) / z_{PL} = (x_P + L_B/2) / z_P \quad (3.1)$$

$$(x_{PR} - L_B/2) / z_{PR} = (x_P - L_B/2) / z_P \quad (3.2)$$

$$y_{PL} / z_{PL} = y_{PR} / z_{PR} = y_P / z_P \quad (3.3)$$

$$L_B / z_P = \{ (x_{PL} + L_B/2) - (z_{PL} / z_{PR}) (x_{PR} - L_B/2) \} / z_{PL} \quad (3.4)$$

ただし、 $|x_{PR}| \geq |x_{PL}|$

$$L_B / z_P = \{ - (x_{PR} - L_B/2) + (z_{PR} / z_{PL}) (x_{PL} + L_B/2) \} / z_{PR} \quad (3.5)$$

ただし、 $|x_{PR}| < |x_{PL}|$

$$z_{PR} = (x_{PR} - L_B/2) \cdot \tan(\theta) + f \cdot \cos(\theta) \quad (3.6)$$

$$z_{PL} = - (x_{PL} + L_B/2) \cdot \tan(\theta) + f \cdot \cos(\theta) \quad (3.7)$$

がそれぞれ成り立つ。したがって、物体上の一点  $P$  の座標  $(x_P, y_P, z_P)$  は、上記 (3.1) 式から上記

(3.7) 式より求まる。

【0008】以上説明した三角測量により、右側撮像系と左側撮像系とからなる複眼撮像系によって撮像した二枚の画像から、物体（被写体）までの距離を求めることができる。しかし、三角測量は、右側カメラのセンサ面  $A_{SR}$  での投影点  $P_R$  と左側カメラのセンサ面  $A_{SL}$  での投影点  $P_L$  とが同じ一点  $P$  の投影点であることを前提条件として、物体までの距離を求めるものである。したがって、左側カメラのセンサ面  $A_{SL}$  での投影点  $P_L$  に対応する右側カメラのセンサ面  $A_{SR}$  での投影点  $P_R$  が抽出されている必要があるため、複眼撮像系を用いて距離情報を得るには、如何にして対応点を抽出するか（対応点抽出方法）が問題となる。かかる対応点抽出方法の代表的なものとしては、既に工場などで応用されているテンプレートマッチング法と、視覚の処理に基づく協調法（協調的アルゴリズム）とがある。

☆

\* 光軸がそれぞれ、図19に示すように、基線  $B$  に対して垂直である場合（すなわち、該2つの光軸が互いに平行である場合）には、

☆ がそれぞれ、図20に示すように、基線  $B$  に対して所定

の角度（輻湊角） $\theta$  をもっている場合には、

☆ 【0009】 (1) テンプレートマッチング法

テンプレートマッチング法は、左側カメラのセンサ面  $A_{SL}$  に結像される左画像の任意の一点を囲むテンプレートを考え、このテンプレート内の画像に対して、右側カメラのセンサ  $A_{SR}$  に結像される右画像の類似性を比較することによって、対応点を決定するものである。なお、類似性の比較には、以下に示す二通りの方法がある。

【0010】 (a) SSDA法 (Sequential Similarity Detection Algorithm)

SSDA法は、以下に示す (4.1) 式で示すように、左画像のエピポーラライン  $L_{SL}$  上のすべての画素および右画像のエピポーラライン  $L_{SR}$  上のすべての画素に対して、左画像のテンプレート内の画像中の画素値  $E_L$  と探索する右画像中の画素値  $E_R$  との差を加算して、得られた和  $E(x, y)$  が最小値になる座標を対応点の座標とするものである。

【0011】

【数1】

$$E(x, y) = \sum_{i,j} |E_R(x-i, y-j) - E_L(x-i, y-j)| \quad (4.1)$$

SSDA法では、今までに計算した他の座標における最小値よりも計算中の画素値の差の和が大きくなった場合には、計算を中止して次の座標に移動してもよいため、余分な計算をなくして計算時間を短縮することができる。

【0012】 (b) 相関法

◆ 相関法は、以下に示す (4.2) 式で示すように、左画像のテンプレート内の画像中の画素値  $E_L$  と探索する右画像中の画素値  $E_R$  との相互相関をとることにより相関値  $\rho(x, y)$  を求めて、求めた相関値  $\rho(x, y)$  が最大値となる座標を対応点の座標とするものである。なお、

◆ 50 式 (4.2) に示す正規化相互相関では、最大値は

“1”となる。

【0013】

\*【数2】

$$\rho(x, y) = \frac{\sum (E_R(x-i, y-j) \cdot E_L(x-i, y-j))}{\sqrt{\sum E_R^2(x-i, y-j)} \cdot \sqrt{\sum E_L^2(x-i, y-j)}} \quad (4.2)$$

(2) 協調法 (協調アルゴリズム)

David Marrにより提案された『協調アルゴリズム』は、以下に示す3つの規則を用いて視差ラインを得るアルゴリズムである(D. Marr, Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information, W. H. Freeman & Co., San Francisco Calif., 1982)。

【0014】規則1 (適合性) …… 黒点は黒点とのみ整合し得る

規則2 (一意性) …… ほとんど常に、一つの画像の一つの黒点は、他方の画像の唯一の黒点と整合し得る

規則3 (連続性) …… 整合する点の視差は、ほとんど全域で滑らかに変化する。

【0015】協調アルゴリズムを実現する対応点抽出装置は、Marrによると、多くの処理装置が並列にかつ相互に結合されたネットワークを形成してなるものであり、図21(A)に示す各交点または節点に、小さな処理装置がそれぞれ置かれる。もし節点が黒点の正しい対を表わすならば、該節点に置かれた処理装置は最終的に値“1”をもち、一方、もしそれが正しくない対(誤標的)を表わすならば、該処理装置は値“0”をもつ。

【0016】規則2から、ただ1つの対応が水平または垂直の線に沿って許される。そこで、各水平または垂直の線に沿った節点に置かれた処理装置はすべて、互いに抑制し合うようにする。これは各線に沿った競合の結果、ただ一つの処理装置が値“1”として生き残り、他の処理装置の値をすべて“0”にすることで、規則2を※

$$C_{x,y,d}^{t+1} = \sigma \left\{ \sum_{x',y',d' \in S(x,y,d)} C_{x',y',d'}^t - \varepsilon \sum_{x',y',d' \in O(x,y,d)} C_{x',y',d'}^t + C_{x,y,d}^0 \right\} \quad (5)$$

ここで、

【0020】

【外1】

$$C_{x,y,d}^t$$

は、図21(A)に示したネットワークにおける位置(x, y)、視差dおよび時間tに対応する細胞の状態を示す。S(x, y, d)は局所的興奮性近傍、O(x, y, d)は抑制性近傍である。εは抑制定数であり、σは閾値関数である。初期状態C<sup>0</sup>は、定められた視差範囲内で、誤標的を含む可能な対をすべて含んでいる。ここで、それは各繰り返しごとに加えられる(そうする必要はないが、こうするとアルゴリズムがより速く収束する)。

【0021】次に、二枚の二値画像からそれぞれ抽出した二本のエピポーララインから形成される視差画面上

※満足しようという考え方によるものである。

【0017】規則3によれば、正しい対は破線に沿って存在しやすいので、この方向に並ぶ処理装置間に、興奮性の結合を挿入する。これは、各局所的な処理装置に図21(B)に示すような構造を与える。両眼からの視線に対応する図中の水平の線101および垂直の線102に沿う処理装置に抑制性結合をかけ、視差一定の線に対応する斜めの線103に沿う処理装置には興奮性結合をかける。我々は、そのアルゴリズムを二次元の画像に拡張できる。その場合は、抑制性結合はそのまま、興奮性結合が視差一定の二次元の微小近傍104にかかるようにする。これを図21(C)に示す。

【0018】かかる対応点抽出装置では、左画像と右画像とをそれぞれ撮り、二つの黒点が整合する所(誤標的も含めすべて)は“1”を与えて他はすべて“0”を与えることにより、処理装置のネットワークに負荷を加えたのち、ネットワークを走らせる。各処理装置は興奮性近傍の“1”を合計し、抑制性近傍の“1”を合計する。そして、一方の合計に適当な重みをかけたのち、結果の数値を引き算する。もし結果がある閾値を超えればその処理装置は値“1”にセットされ、もしそうでなければその処理装置は“0”にセットされる。形式的に、このアルゴリズムは、次の(5)式に示す反復関係によって表わされる。

【0019】

【数3】

★で、この二枚の二値画像の実画素に基づく興奮性結合および抑制性結合をもつ局所演算を繰り返し行うことにより視差ラインを得て、この二枚の二値画像の対応点を抽出する複数画像の対応点抽出方法について、詳しく説明する。

【0022】まず、視差ラインについて、図22および図23をそれぞれ参照して説明する。左側カメラおよび右側カメラの光軸が基線に対してそれぞれ垂直であるとき、被写体が投影された図22に示すような一組のエピポーララインL<sub>la</sub>、L<sub>ra</sub>が得られる。そこで、図23に示すように、得られた左のエピポーララインL<sub>la</sub>を画素a<sub>la</sub>が図示左側になり画素a<sub>ra</sub>が図示右側になるように図示横方向に配置するとともに、得られた右のエピポーララインL<sub>ra</sub>を画素a<sub>ra</sub>が図示下側になり画素a<sub>la</sub>が図示上側になるように図示縦方向に配置したのち、各エピポーララインL<sub>la</sub>、L<sub>ra</sub>上の互に対応する画素(画素



$a_{11}$ と画素  $a_{12}$ など)の交点  $b_1 \sim b_5$ をそれぞれ求める。このとき、各交点  $b_1 \sim b_5$ を結ぶ線を『視差ライン114』と呼び、視差が一定の場合には視差ライン114は図示右上がりの傾き  $45^\circ$ の直線となるため、視差ライン114を求めることにより左画像と右画像との視差の変化がわかる。なお、2つのエピソードライン  $L_{a1}$ ,  $L_{a2}$ により得られる平面を『視差画面113』と呼ぶ。

【0023】次に、視差ラインと距離との関係について、図24乃至図28をそれぞれ参照して説明する。

【0024】図24(A)に示すように、右側カメラおよび左側カメラから遠くに存在する視差が一定の各点  $a_{21} \sim a_{25}$ について視差画面と視差ラインとを同様にして求めると、同図(B)に示す視差画面121と視差ライン131とが得られる。図25(A)に示すように、前記各点  $a_{21} \sim a_{25}$ よりも右側カメラおよび左側カメラの近くに存在する視差が一定の各点  $a_{31} \sim a_{34}$ について視差画面と視差ラインとを同様にして求めると、同図(B)に示す視差画面122と視差ライン132とが得られる。図26(A)に示すように、前記各点  $a_{31} \sim a_{34}$ よりも右側カメラおよび左側カメラの近くに存在する視差が一定の各点  $a_{41} \sim a_{43}$ について視差画面と視差ラインとを同様にして求めると、同図(B)に示す視差画面123と視差ライン133とが得られる。図27(A)に示すように、前記各点  $a_{41} \sim a_{43}$ よりも右側カメラおよび左側カメラの近くに存在する視差が一定の各点  $a_{51}$ ,  $a_{52}$ について視差画面と視差ラインとを同様にして求めると、同図(B)に示す視差画面124と視差ライン134とが得られる。

【0025】以上のことにより、左側カメラおよび右側カメラの光軸が基線に対してそれぞれ垂直であるときには、

(1) 視差が一定となる各点が、右側カメラおよび左側カメラから無限遠の距離に存在する場合には、得られた視差ラインは、視差画面を二等分する傾き  $45^\circ$ の直線となる。

(2) 視差が一定の各点が右側カメラおよび左側カメラに近づくにつれて、得られた視差ラインは、視差画面の図示右下隅に寄った傾き  $45^\circ$ の直線となる。ということがわかる。

【0026】また、図28(A)に示すような各点  $a_{61} \sim a_{66}$ について視差画面と視差ラインとを同様にして求めると、同図(B)に示す視差画面125と視差ライン135とが得られる。ここで、得られた視差ライン135は、視差画面125の図示左下隅から図24(B)に示した視差ライン131に沿って図示右上隅に向かって進み、途中で図示57(B)に示した視差ライン132に移ったのち、図24(B)に示した視差ライン131に沿って図示右上隅に向かって再度進むものとなる。したがって、凹凸のある物体(被写体)についても、物体の凹凸に応じた視差ラインが得られることがわかる。



【0027】以上の結果、三角測量より求めた距離のデータを視差画面の座標が保持しているとすると、得られた視差ラインの座標より被写体までの距離を求めることができる。

【0028】次に、Juleszのランダムドット・ステレオグラム(参照:デビット・マー, 乾など訳, ビジョン(視覚の計算理論と脳内表現), 産業図書)のように、極めて類似した画像に変換された二枚の二値画像に対して、協調アルゴリズムにより対応点抽出を行う一例について、図29に示すフローチャートを参照して説明する。

【0029】たとえばランダムドット・ステレオグラムなどの視差をもつ二枚の二値画像を複眼撮像系を用いて取り込んだのち(ステップS1)、取り込んだ二枚の二値画像から任意の二組のエピソードライン  $L_{a1}$ ,  $L_{a2}$ を抽出する(ステップS2)。抽出した二組のエピソードライン  $L_{a1}$ ,  $L_{a2}$ を図30に示すように配置する(ステップS3)。すなわち、左のエピソードライン  $L_{a1}$ は、その左端141<sub>L</sub>が図示左側にされるとともにその右端141<sub>R</sub>が図示右側にされて、図示横方向に配置される。また、右のエピソードライン  $L_{a2}$ は、その左端142<sub>L</sub>が図示下側にされるとともにその右端142<sub>R</sub>が図示上側にされて、図示縦方向に配置される。続いて、左のエピソードライン  $L_{a1}$ 上の画素値“黒”を示す画素と右のエピソードライン  $L_{a2}$ 上の画素値“黒”を示す画素とが視差画面143上で交差する視差画面143上のすべての交点を黒点とすることにより、図31に示すように、視差画面143の初期値を有する初期画面144を作成する(ステップS4)。

【0030】その後、作成された初期画面144中の各黒点に対して、実画素に基づく興奮性結合および抑制性結合をもつ局所処理をそれぞれ行う(ステップS5)。このとき、実画素に基づく興奮性結合は、図32に示すように、初期画面144中の任意の一つの黒点Qを中心とした、傾き  $45^\circ$ の図示右上がりの直線方向を長軸151とするとともに傾き  $-45^\circ$ の図示右下がりの直線方向を短軸152とする楕円150内に存在する各交点に対してそれぞれ行われる。また、実画素に基づく抑制性結合は、黒点Qに対して、図示水平方向の軸および図示垂直方向の軸上に存在する各交点に対してそれぞれ行われる。続いて、実画素に基づく興奮性結合および抑制性結合をもつ局所処理が行われた初期画面144の各交点に対して、たとえば図33に示すような二値出力の閾値関数171

(上記(5)式の閾値関数  $\sigma$ に相当)を用いた所定の処理をそれぞれ施すことにより、新しい視差画面を作成する(ステップS6)。続いて、ステップS5の処理およびステップS6の処理が所定回数だけそれぞれ行われたか否かの判断を行い(ステップS7)、所定回数だけ行われていない場合には、ステップS6の処理において作成した新しい視差画面を初期画面として、ステップS5の処理およびステップS6の処理を繰り返す。その結



果、最終的に、ステップS 6の処理において作成した新しい視差画面上に視差ラインが得られ、この視差ラインに基づいて対応点の抽出を行うことができる。

【0031】なお、ステップS 7の判断の代わりに、視差画面の各交点の値が収束するまで、ステップS 6の処理において作成した新しい視差画面を初期画面としてステップS 5の処理およびステップS 6の処理を繰り返して、処理を終えてもよい。また、ステップS 1で取り込んだ二枚の二値画像の他の組のエピポーラライン $L_a$ 、 $L_b$ について視差ラインを求める場合には、ステップS 2からステップS 7を再度繰り返すことにより、同様にして視差ラインを求めることができる。

【0032】次に、図29のステップS 2における一組のエピポーララインの抽出方法について、図34を参照して詳しく説明する。

【0033】2つのカメラ（左側カメラと右側カメラ）のレンズの中心点をそれぞれ、図34に示すように、 $O_L$ 、 $O_R$ とする。また、左側カメラのセンサ面 $A_s$ 上の座標を $(x_L, y_L, z_L)$ 、右側カメラのセンサ面 $A_s$ 上の座標を $(x_R, y_R, z_R)$ とする。このとき、 $z_L$ 軸および $z_R$ 軸は各光軸と一致するようにする。

【0034】 $x_L$ 軸、 $y_L$ 軸、 $z_L$ 軸、 $x_R$ 軸、 $y_R$ 軸および $z_R$ 軸の単位ベクトルをそれぞれ

【0035】

【外2】

$$i_L, j_L, k_L, i_R, j_R, k_R$$

とし、左側カメラのセンサ面 $A_s$ から左側カメラのレンズの中心点 $O_L$ までの距離を $f_L$ とし、右側カメラのセンサ面 $A_s$ から右側カメラのレンズの中心点 $O_R$ までの距離を $f_R$ とすると、物体上の一点Pの左側カメラのセンサ面 $A_s$ 上の投影点 $P_L$ のベクトル

【0036】

【外3】

$$P_L$$

および右側カメラのセンサ面 $A_s$ 上の投影点 $P_R$ のベクトル

【0037】

【外4】

$$P_R$$

はそれぞれ、

【0038】

【数4】

$$P_L = O_L + X_L i_L + Y_L j_L + f_L k_L \quad (6.1)$$

$$P_R = O_R + X_R i_R + Y_R j_R + f_R k_R \quad (6.2)$$

と表される。

【0039】左側カメラのセンサ面 $A_s$ 上の投影点 $P_L$ と左側カメラのレンズの中心点 $O_L$ との間の相対位置ベクトル

【0040】

【外5】

$$V_L$$

、および、右側カメラのセンサ面 $A_s$ 上の投影点 $P_R$ と右側カメラのレンズの中心点 $O_R$ との間の相対位置ベクトル

【0041】

【外6】

$$V_R$$

はそれぞれ、

10 【0042】

【数5】

$$V_L = P_L - O_L \quad (6.3)$$

$$V_R = P_R - O_R \quad (6.4)$$

と表され、また、左側カメラのレンズの中心点 $O_L$ と右側カメラのレンズの中心点 $O_R$ との間の相対位置ベクトル

【0043】

【外7】

20

$$d$$

（基線長に相当する）は、

【0044】

【数6】

$$d = O_L - O_R \quad (6.5)$$

と表され、エピポーラ面 $A_e$ の単位法線ベクトル

【0045】

【外8】

$$n_{Le}$$

は、

30 【0046】

【数7】

$$n_{Le} = -\frac{V_L \times d}{|V_L \times d|} \quad (6.6)$$

と表される。

【0047】右側カメラのセンサ面 $A_s$ の単位法線ベクトルを

【0048】

【外9】

40

$$k_R$$

とすると、右のエピポーラライン $L_a$ は

【0049】

【外10】

$$n_{Le}$$

と

【0050】

【外11】

$$k_R$$

とに直交するので、この方向の単位ベクトル

50 【0051】



【外 1 2】

 $e_{Re}$ 

は、

【0052】

【数8】

$$e_{Re} = \frac{n_{Le} \times k_R}{|n_{Le} \times k_R|} \quad (6.7)$$

と表される。よって、右側カメラのセンサ面  $A_{sa}$  の投影点  $P_R$  のベクトルを

【0053】

【外 1 3】

 $P_R$ 

とすると、右のエピポーラライン  $L_{sa}$  は、

【0054】

【数9】

$$P_R + \beta e_{Re} \quad (6.9)$$

と表される。左のエピポーラライン  $L_{sa}$  についても同様に表される。

【0055】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来の複数画像の対応点抽出方法においては、以下に示すような問題がある。

(1) テンプレートマッチング法では、一方の画像中の点の他方の画像における対応点が画素上に得られるため、十分な精度を得ることができない。また、周期的な画像中などでは誤対応を生じることがある。

(2) テンプレートマッチング法では、周期的な構造をもつ二値画像の場合には、誤対応を起こすなど信頼性が十分ではない。

(3) 協調アルゴリズムでは、興奮性処理および抑制性処理により、初期画面から視差ラインを得るまでの処理時間が長いという欠点を有しており、また、信頼性の面でも必ずしも十分というわけではない。

【0056】本発明の目的は、信頼性の向上および処理時間の短縮化が図れる複数画像の対応点抽出方法を提供することにある。

【0057】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の複数画像の対応点抽出方法は、複数の画像のうちの任意の一つの画像から抽出したエピポーラライン上の複数の点に対する前記複数の画像のうちの他の画像上における対応点の抽出を行う際に、対応候補点群を求めたのち、該求めた対応候補点群を代表する直線を求め、該求めた直線上に前記対応候補点群を移す。

【0058】ここで、前記直線上に前記対応候補点群を移す際に、該直線との間の距離が所定のしきい値よりも小さい対応候補点のみ移し、該直線との間の距離が所定のしきい値よりも大きい対応候補点を除去してもよい。

【0059】また、前記対応候補点群を求める際に、前



記複数の画像からそれぞれ抽出した複数のエピポーララインから形成される視差画面上の各交点で、該複数の画像の実画素に基づく興奮性結合および抑制性結合をもつ局所演算を行うことにより視差ラインを得て、該複数の画像の対応点を抽出する複数画像の対応点抽出方法を用いてもよい。

【0060】本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法は、複数の画像からそれぞれ抽出した複数のエピポーララインから形成される視差画面上の各交点で、該複数の画像の実画素に基づく興奮性結合および抑制性結合をもつ局所演算を行うことにより視差ラインを得て、該複数の画像の対応点を抽出する複数画像の対応点抽出方法において、協調法以外の方法により対応候補点群を予め求め、該求めた対応候補点群を用いて前記協調法により初期画面の作成を行う。

【0061】ここで、前記対応候補点群を予め求めるための方法として、テンプレートマッチング法を用いてもよい。

【0062】

20 【作用】本発明の第1の複数画像の対応点抽出方法は、複数の画像のうちの任意の一つの画像から抽出したエピポーラライン上の複数の点に対する複数の画像のうちの他の画像上における対応点の抽出を行う際に、対応候補点群を求めたのち、求めた対応候補点群を代表する直線を求め、求めた直線上に前記対応候補点群を移すことにより、複数画像間の対応関係が従来のテンプレートマッチング法などに比べより精度よく求まるため、サブ画素精度での対応関係を得ることができる。また、前記直線上に対応候補点群を移す際に、直線との間の距離が所定のしきい値よりも小さい対応候補点のみ移し、直線との間の距離が所定のしきい値よりも大きい対応候補点を除去することにより、所定のしきい値を誤対応点判断の基準として所定のしきい値よりも大きい対応候補点を除去することができるため、複数画像間の対応関係をより一層明確にすることができる。

30 【0063】本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法は、協調法以外の方法（たとえば、テンプレートマッチング法）により対応候補点群を予め求め、求めた対応候補点群を用いて協調法により初期画面の作成を行うことにより、視差画面中の視差ラインの生成を早めることができる。また、テンプレートマッチング法により対応候補点群を予め求め、求めた対応候補点群を用いて協調法により初期画面の作成を行うことにより、誤対応を少なくすることができる。

【0064】

【実施例】以下、本発明の実施例について、図面を参照して説明する。

【0065】なお、以下の説明では、左右一対のカメラを用いて得られた一対の画像において対応点抽出を行うこととする。この際、左右どちらの画像を基準にして対





応を求めてもよいが、ここでは、左画像を基準とし、左側画像中の点の対応点を右側画像中に求めるように、対応点抽出を行うものとする。

【0066】図1は、本発明の第1の複数画像の対応点抽出方法の基本概念を説明するための図である。

【0067】本来、左のエピポーラライン $L_{aj}$ 上の一点に対する右側画像中の対応点は、左のエピポーラライン $L_{aj}$ と対をなす右のエピポーラライン $L_{aj}$ 上の点 $P_{ai}'$ と対応しているはずである。しかし、テンプレートマッチング法などの従来の対応点抽出方法を行った場合には、図1に×印で示すように、対応点 $P_{ai}$ が右のエピポーラライン $L_{aj}$ 上に得られず、ばらつきが生じる（以下、対応点 $P_{ai}$ を「対応候補点 $P_{ai}$ 」と称する。）。そこで、本発明の第1の複数画像の対応点抽出方法では、対応点が本来得られるべき右のエピポーラライン $L_{aj}$ を計算により求めて、従来の対応点抽出方法によって右側画像上に得られた対応候補点 $P_{ai}$ を前記求めた右のエピポーラライン $L_{aj}$ 上の最短距離の点 $P_{ai}'$ （図1に○印で示す点）に移すことにより、複数画像の対応点抽出を行う。

【0068】図2は、本発明の第1の複数画像の対応点抽出方法の第1の実施例を説明するための図である。

【0069】左側センサ上の一画素（一点）を選ぶと、選んだ点と左側カメラのレンズ中心 $O_L$ と右側カメラのレンズ中心 $O_R$ との3点から、エピポーラ面が形成される（ステップS1）。形成されたエピポーラ面と左右のセンサとの交線として、一対のエピポーララインが得られる（ステップS2）。このようなエピポーララインの組が画像中に $m$ 組存在するとして、左右のエピポーララインをそれぞれ $L_{aj}$ 、 $L_{aj}$ （ $j=1\sim m$ ）とする。このとき、求められた左のエピポーラライン $L_{aj}$ は、前述した（6.9）式と同様にして、

【0070】

【数10】

$$L_{eLj} = P_L + \beta e_{Le} \quad (7.1)$$

と表される。

【0071】図3および図4に示すように、ステップS2で求められた左のエピポーラライン $L_{aj}$ と左側センサ上の各画素（図3図示白抜きの四角）との交点 $P_{ai}$ がそれぞれ抽出される。いま、左側センサ上の全域で、交点 $P_{ai}$ が合計 $n$ 個得られたとする。 $n$ 個の交点 $P_{ai}$ （ $i=1\sim n$ ）について、テンプレートマッチング法などにより、右側画像中の対応候補点 $P_{ai}$ （ $i=1\sim n$ ）が求められる（ステップS3）。通常、テンプレートマッチング法などにより対応候補点 $P_{ai}$ を求める場合は、図5に示すように、右側センサの画素（図4図示白抜きの四角）上に、対応候補点 $P_{ai}$ が得られる。そのため、本来ならば、左のエピポーラライン $L_{aj}$ と対をなす右のエピポーラライン $L_{aj}$ 上に直線状に得られるはずである



対応候補点 $P_{ai}$ が、実際には、図6に示すように、ばらついた状態でそれぞれ求められる。

【0072】そこで、左のエピポーラライン $L_{aj}$ と対をなす右のエピポーラライン $L_{aj}$ を算出する（ステップS4）。図19および図20に示したような点 $O$ を原点とする座標を考える。この座標系の表示では、左側カメラのセンサ面 $A_s$ 上の投影点 $P_L$ と左側カメラのレンズの中心点 $O_L$ との間の相対位置ベクトル

【0073】

10 【外14】

$V_L$

は、

【0074】

【数11】

$$V_L = (x_{vL}, y_{vL}, z_{vL}) \quad (7.2)$$

と表される。いま、

【0075】

【数12】

$$V_L' = (-x_{vL}, y_{vL}, z_{vL}) \quad (7.3)$$

20 と表されるベクトル

【0076】

【外15】

$V_L'$

を考える。

【0077】

【数13】

$$P_L' = O_R + \gamma V_L' \quad (7.4)$$

で規定される点 $P_L'$ は、点 $O_L$ 、点 $O_R$ および点 $P_L$ からなるエピポーラ面上にあり、

30  $\gamma = f_s / f_L \quad (7.5)$

としたところで、点 $P_L'$ が右側センサ面上または右側センサ面を含む平面上にくる。したがって、

【0078】

【数14】

$$X_R = O_R + \frac{f_R}{f_L} V_L' \quad (7.6)$$

とおけば、点 $X_R$ は右側センサ面上にあり、かつ、右のエピポーラライン $L_{aj}$ にある。また、右のエピポーラライン $L_{aj}$ は、

40

【0079】

【外16】

$n_{Le}$

と

【0080】

【外17】

$k_R$

とに直交するので、この単位方向ベクトル

【0081】

50 【外18】

 $e_{Re}$ 

は、

【0082】

【数15】

$$e_{Re} = \frac{n_{Le} \times k_R}{|n_{Le} \times k_R|} \quad (7.7)$$

で表される。したがって、右のエピポーラライン $L_{eR}$ 

は、

【0083】

【数16】

$$L_{eRi} = X_R + a e_{Re} \quad (7.8)$$

で表される。

【0084】本来、対応候補点群は、上記ステップS4で求めた右のエピポーラライン $L_{eR}$ の周辺に分布しているはずである。しかし、テンプレートマッチング法などを用いた場合には、誤対応を起こし、右のエピポーラライン $L_{eR}$ から離れたところに対応候補点 $P_{Ri}$ が求められることがある。そこで、対応候補点 $P_{Ri}$ のうち誤対応と考えられる点（以下、「誤対応点」と称する。）を除去し（ステップS5）、対応点抽出における信頼性の向上を図る。すなわち、誤対応点は、上述したように、他の対応候補点 $P_{Ri}$ に比べて、求めた右のエピポーラライン $L_{eR}$ からの距離が離れていると考えられる。そこで、対応候補点 $P_{Ri}$ と求めた右のエピポーラライン $L_{eR}$ との間の距離 $l_i$ が所定のしきい値 $Th$ よりも大きいときに、その対応候補点 $P_{Ri}$ を誤対応点として除去する。なお、しきい値 $Th$ は、任意に設定可能であるが、たとえば、距離 $l_i$ の平均値

【0085】

【外19】

$$\sum_{i=1}^n l_i / n$$

の数倍程度とすればよい。また、誤対応点の除去方法としては、他の方法、たとえば、対応候補点分布における偏差値を求め、求めた偏差値が所定の範囲内に入っていないものを除去する方法などでもよい。

【0086】続いて、上記ステップS5で除去されなかった対応候補点 $P_{Ri}$ を、対応点が本来存在するべきである前記求めた右のエピポーラライン $L_{eR}$ 上に再配置する（ステップS6）。その方法としては、図1に示すように、対応候補点 $P_{Ri}$ と求めた右のエピポーラライン $L_{eR}$ との最短距離の点 $P_{Ri}'$ を求めて、この求めた点 $P_{Ri}'$ に対応候補点 $P_{Ri}$ を移せばよい。これにより、図7に示すように、サブ画素精度を得ることが可能になる。 \*

$$l_i = \{ (X_R - X_{Ri})^2 + (a X_R + b - Y_{Ri})^2 \}^{1/2} \quad (8)$$

で表わされる。そして、

【0094】

【数17】



\* 【0087】以上で、左のエピポーラライン $L_{eL}$ 上の対応点抽出が完了するが、これと同様な左のエピポーラライン $L_{eL}$ が左側画像中には複数本存在すると考えられる。いま、左側画像中に左のエピポーラライン $L_{eL}$ が $m$ 本得られるものとして、画面全域での対応を求めるために、以下の過程を実行する。

【0088】既に対応点抽出を行った左のエピポーラライン $L_{eL}$ 上にない左側センサ上の一点を選び、ステップS2～ステップS6の動作を繰り返す（ステップS7）。以上の動作を $m$ 回繰り返すことで、左側画像と右側画像の対応がすべて求められ、画面全域での対応点抽出が完了する（ステップS8）。

【0089】次に、本発明の第1の複数画像の対応点抽出方法の第2の実施例について、図8～図11をそれぞれ参照して、説明する。

【0090】左のエピポーラライン $L_{eL}$ 上の各点については、その対応点が右のエピポーラライン $L_{eR}$ 上に求められるはずである。しかし、左右のカメラの個体差などにより、若干のズレを生じることが考えられる。そこで、右のエピポーラライン $L_{eR}$ の代わりに、左のエピポーラライン $L_{eL}$ 上の各点に関してテンプレートマッチング法などによって得られる右側画像上の対応候補点 $P_{Ri}$ 群の分布形状を近似する一本の直線を用いて、この直線上の最短距離の点 $P_{Ri}'$ に対応候補点 $P_{Ri}$ 群を再配置することにより、複数画像の対応点抽出を行うこともできる。

【0091】以下、本実施例の複数画像の対応点抽出方法について、図8を参照しつつ、詳しく説明する。

【0092】上述した第1の実施例と同様にして、左側センサ上の一点を選択し（ステップS11）、選択した点と左側カメラのレンズ中心 $O_L$ と右側カメラのレンズ中心 $O_R$ との3点から形成されるエピポーラ面と左右のセンサとの交線として一対のエピポーララインを得ることにより左のエピポーラライン $L_{eL}$ を求めたのち（ステップS12）、求めた左のエピポーラライン $L_{eL}$ と左側センサ上の各画素との交点 $P_{Li}$ をそれぞれ抽出して、抽出した $n$ 個の交点 $P_{Li}$ （ $i=1 \sim n$ ）についてテンプレートマッチング法などにより右側画像中の対応候補点 $P_{Ri}$ （ $i=1 \sim n$ ）を求める（ステップS13）。

【0093】続いて、図18に示した右側センサ面 $A_{SR}$ の座標軸に対応して、図9に示すような右側画像の座標軸 $X_R$ 、 $Y_R$ をとる。ここで、求める対応点群の分布形状を一本の直線で近似する。近似した直線の方程式を“ $Y_R = a X_R + b$ ”とすると、この直線と対応候補点 $P_{Ri}(X_{Ri}, Y_{Ri})$ との間の距離 $l_i$ は、

$$E = \sum_{i=1}^n l_i$$

※50※で定義される変数 $E$ を最小とする各係数 $a$ 、 $b$ の値をそ



れぞれ求めることにより、直線“ $Y_i = a X_i + b$ ”を決定する（ステップS14）。

【0095】このとき、他の対応候補点に比べて前記直線“ $Y_i = a X_i + b$ ”から著しく離れた対応候補点が存在する場合には、この対応候補点は誤対応点と考えられるため、この対応候補点（誤対応点）を除去することにより、信頼性の向上を図る（ステップS15）。なお、誤対応点の除去方法としては、上記（8）式より求めた距離 $l_i$ が所定のしきい値 $T_h$ よりも大きいときに、その対応候補点 $P_{ii}$ を誤対応点として除去する方法を用いることができる。ここで、しきい値 $T_h$ は、任意に設定可能であるが、たとえば、距離 $l_i$ の平均値

【0096】

【外20】

$$\sum_{i=1}^n l_i / n$$

の数倍程度とすればよい。また、誤対応点の除去方法としては、他の方法、たとえば、対応候補点分布における偏差値を求め、求めた偏差値が所定の範囲内に入っていないものを除去する方法などでもよい。

【0097】続いて、上記ステップS15で除去されなかった対応候補点 $P_{ii}$ を、対応点が本来存在するべきである直線“ $Y_i = a X_i + b$ ”上に再配置する（ステップS16）。その方法としては、図10に示すように、対応候補点 $P_{ii}$ と直線“ $Y_i = a X_i + b$ ”との最短距離の点 $P_{ii}'$ を求めて、この求めた点 $P_{ii}'$ に対応候補点 $P_{ii}$ を移せばよい。これにより、図11に示すように、サブ画素精度を得ることが可能になる。

【0098】以上で、左のエピポーラライン $L_{ai}$ 上の対応点抽出が完了するが、これと同様な左のエピポーラライン $L_{ai}$ が左側画像中には複数本存在すると考えられる。いま、左側画像中に左のエピポーラライン $L_{ai}$ が $m$ 本得られるものとして、画面全域での対応を求めるために、以下の過程を実行する。

【0099】既に対応点抽出を行った左のエピポーラライン $L_{ai}$ 上にない左側センサ上の一点を選び、ステップS12～ステップS16の動作を繰り返す（ステップS17）。以上の動作を $m$ 回繰り返すことで、左側画像と右側画像の対応がすべて求められ、画面全域での対応点抽出が完了する（ステップS18）。

【0100】なお、ステップS15で除去すべき誤対応点は、互いに隣り合う2つの対応候補点間の距離が他のものに比べて著しく長いものとして求められるはずである。したがって、このような対応候補点が存在する場合は、直線“ $Y_i = a X_i + b$ ”を求める前の段階でその対応候補点を予め除去しておけば、対応点分布形状を近似する直線“ $Y_i = a X_i + b$ ”をより精度よく求めることができる。

【0101】以上説明した各実施例においては、複数画像の対応点抽出方法としてテンプレートマッチング法を



用いた場合についてのみ言及しているが、それ以外の複数画像の対応点抽出方法（たとえば協調法など）を用いても、同様の効果が得られる。また、カメラのレンズの収差などによりエピポーララインが直線状に得られない場合などにおいては、上述した手順を右側画像を基準としても行い、左側画像を基準とした場合と右側画像を基準とした場合の動作を複数回だけ繰り返すことによって、同様の効果が期待できる。

【0102】図12は、本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法の基本概念を説明するためのフローチャートである。なお、以下の説明においては、複眼撮像系により得られる左右一対の二値画像に対して、一画素単位の精度で対応点抽出を行うこととする。

【0103】複眼撮像系より画像を取り込むことにより、左右一対の二値画像を得る（ステップS21）。得られた一組の二値画像を用いて、テンプレートマッチング法により対応点抽出を行うことにより、対応候補点を求める（ステップS22）。ステップS21で得られた一組の二値画像から任意の左右一組のエピポーラライン $L_{ai}$ 、 $L_{aj}$ を抽出する（ステップS23）。なお、抽出した左右のエピポーラライン $L_{ai}$ 、 $L_{aj}$ は、ステップS22で求めた対応関係が存在している。

【0104】続いて、抽出した左右のエピポーラライン $L_{ai}$ 、 $L_{aj}$ を、図13に示すように、それぞれ配置する（ステップS24）。すなわち、左端11<sub>i</sub>を図示左側にするとともに右端11<sub>j</sub>を図示右側にして、左のエピポーラライン $L_{ai}$ を図示横方向に配置する。また、左端12<sub>i</sub>を図示下側にするとともに右端12<sub>j</sub>を図示上側にして、右のエピポーラライン $L_{aj}$ を図示縦方向に配置する。続いて、左右のエピポーラライン $L_{ai}$ 、 $L_{aj}$ の画素間の対応候補点情報などに基づいて、視差画面の初期値を有する初期画面20を作成する（ステップS25）。このときの視差画面の初期値の選び方は種々あるので、その詳細については、後述する各実施例の説明の中で説明する。

【0105】その後、作成した初期画面20中の各黒点に対して、実画素に基づく興奮性結合および抑制性結合をもつ局所処理をそれぞれ行う（ステップS26）。このとき、実画素に基づく興奮性結合は、図32に示したように、初期画面20中の任意の一つの黒点を中心とした、傾き45°の図示右上がりの直線方向を長軸とするとともに傾き-45°の図示右下がりの直線方向を短軸とする楕円内に存在する各交点に対してそれぞれ行われる。また、実画素に基づく抑制性結合は、黒点に対して、図示水平方向の軸および図示垂直方向の軸上に存在する各交点に対してそれぞれ行われる。続いて、実画素に基づく興奮性結合および抑制性結合をもつ局所処理が行われた初期画面20の各交点に対して、たとえば図33に示したような二値出力の閾値関数を用いた所定の処理をそれぞれ施すことにより、新しい視差画面を作成す



る（ステップS27）。

【0106】続いて、ステップS26の処理およびステップS27の処理が所定回数だけそれぞれ行われたか否かの判断を行い（ステップS28）、所定回数だけ行われていない場合には、ステップS27の処理において作成した新しい視差画面を初期画面として、ステップS26の処理およびステップS27の処理を繰り返す。その結果、最終的に、ステップS27の処理において作成した新しい視差画面上に視差ラインが得られ、この視差ラインに基づいて対応点の抽出を行うことができる。

【0107】なお、ステップS28の判断の代わりに、視差画面の各交点の値が収束するまで、ステップS27の処理において作成した新しい視差画面を初期画面としてステップS26の処理およびステップS27の処理を繰り返して、処理を終えてもよい。また、ステップS21で取り込んだ二枚の二値画像の他の組のエピポーラライン $L_a$ 、 $L_b$ について視差ラインを求める場合には、ステップS23からステップS28を再度繰り返すことにより、同様にして視差ラインを求めることができる。

【0108】次に、上述したステップS25における初期画面20の作成に際しての初期値の選び方について、第1の実施例乃至第3の実施例を用いて詳細に説明する。

【0109】本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法の第1の実施例では、図12に示したステップS25の \*

\* 処理において、テンプレートマッチング法によって得られた対応情報のみから初期画面を作成する。すなわち、左のエピポーラライン $L_a$ 上の任意の画素と最も関連の強かった右のエピポーラライン上の画素（対応候補点）とが視差画面上で交差する点を黒点とすると、図13に示したような視差画面が得られる。この視差画面を初期画面20として、図12に示したステップS26以下の処理を行う。

【0110】このとき、初期画面20における黒点の並びは、図17に示す最終的に求める視差ライン60に近い形状であるため、処理に要する時間が短縮できる。また、初期画面20の複数の黒点に含まれる誤対応点も、図12に示したステップS26の処理により除去されるため、信頼性の向上が図れる。

【0111】本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法の第2の実施例では、視差画面の初期値は、通常初期値と対応候補点情報に基づく初期値とから表1に示す“AND”の関係に従って選ばれる。ここで、「通常初期値」とは、従来例の協調アルゴリズムの項で述べたような、左のエピポーラライン $L_a$ 上の画素値“黒”を示す画素と右のエピポーラライン $L_b$ 上の画素値“黒”を示す画素とが視差画面上で交差する視差画面上のすべての交点を黒点とすることにより選ばれた初期値をいう。

【0112】

【表1】

表1.

左右画素値			初期値の与え方			
左	右	対応候補関係	通常初期値	対応候補点	AND	OR
黒	黒	有	黒	黒	黒	黒
黒	白	有	白	黒	白	黒
白	黒	有	白	黒	白	黒
白	白	有	白	黒	白	黒
黒	黒	無	黒	白	白	黒
黒	白	無	白	白	白	白
白	黒	無	白	白	白	白
白	白	無	白	白	白	白

左右のエピポーラライン $L_a$ 、 $L_b$ 上の画素値がそれぞれ、図14に示すような“黒”と“白”の画素値で与えられているとき、“通常初期値”に基づく初期画面30

※は、図14に示す初期画面として与えられる。初期画面30上において黒点で示された交点で、かつ、テンプレートマッチング法で得られた対応候補点情報に基づく図



13に示した初期画面20上において黒点で示された交点を、黒点とすることにより、図15に示すような初期画面40を作成する。その後、図12に示したステップS26以降の処理を施すことにより、最終的に図17に示すような視差ライン60を得る。

【0113】本実施例においても、前述した本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法の第1の実施例と同様の効果が得られるとともに、対応候補点中の明らかに左右の画素値の違う対応が協調アルゴリズムに基づく処理を行う前に除去されるという効果を得られる。

【0114】本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法の第3の実施例では、視差画面の初期値は、通常初期値と対応候補点情報のみに基づく初期値とから表1に示す“OR”の関係に従って選ばれる。

【0115】すなわち、“通常初期値”に基づき作成された図14に示した初期画面30上において黒点で示された交点とテンプレートマッチング法で得られた対応候補点情報に基づく図13に示した初期画面20上において黒点で示された交点との両方を黒点とすることにより、図16に示すような初期画面50を作成する。その後、図12に示したステップS26以降の処理を施すことにより、最終的に図17に示すような視差ライン60を得る。

【0116】本実施例においても、前述した本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法の第1の実施例と同様の効果が得られるとともに、対応点探索の範囲が広がり、より信頼性の高い対応点抽出を行うことができる。

【0117】なお、表1において、『左右画素値』の欄は、左エピソードライン $L_{\alpha}$ および右エピソードライン $L_{\beta}$ 上の画素の画素値（“黒”または“白”）を示すものである。『対応候補関係』の欄は、左右画素同士が対応候補点であると求められた場合の“有”と対応候補点同士ではないとされた場合の“無”とを示すものである。『初期値の与え方』の欄は、視差画面上で左右の画素同士が交わる点に与える値（“黒”または“白”）を示すものである。『通常初期値』の欄は、左右画素値がともに“黒”である場合にのみ“黒”とする初期値の与え方を示すものである。『対応候補点』の欄は、対応候補点同士であるとされた交点（すなわち、『対応候補関係』の欄で“有”で示された交点）に“黒”を与える第1の実施例における初期値の与え方を示すものである。『AND』の欄は、『通常初期値』の欄と『対応候補点』の欄とともに“黒”で示された交点にのみ“黒”とする第2の実施例における初期値の与え方を示すものである。『OR』の欄は、『通常初期値』の欄で“黒”で示された交点および『対応候補点』の欄で“黒”で示された交点の両方の交点に“黒”を与えるに第3の実施例における初期値の与え方を示すものである。

【0118】以上の説明では、二値画像について本発明の第1および第2の複数画像の対応点抽出方法を適用し



たが、濃淡画像について適用する場合には、たとえば特願平4-288371号において開示したようなエピソードラインの各画素値を中間値としかつ視差画面上の各交点の値を中間値とする手法と組み合わせることにより、濃淡画像についても適用することができる。

【0119】

【発明の効果】本発明は、上述のとおり構成されているので、次の効果を奏する。

【0120】請求項1記載の発明（本発明の第1の複数画像の対応点抽出方法）は、複数画像間の対応関係が従来のテンプレートマッチング法などに比べより精度よく求まるため、サブ画素精度での対応関係を得ることができるので、信頼性の向上が図れる。

【0121】請求項2記載の発明（本発明の第1の複数画像の対応点抽出方法）は、所定のしきい値を誤対応点判断の基準として所定のしきい値よりも大きい対応候補点を除去することができるため、複数画像間の対応関係をより一層明確にすることができるので、さらに信頼性の向上が図れる。

【0122】請求項3記載の発明（本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法）は、視差画面中の視差ラインの生成を早めることができるので、処理時間の短縮化が図れる。

【0123】請求項4記載の発明（本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法）は、誤対応を少なくすることができるので、信頼性の向上が図れる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の複数画像の対応点抽出方法の基本概念を説明するための図である。

【図2】本発明の第1の複数画像の対応点抽出方法の第1の実施例を説明するための図である。

【図3】図2に示したステップS3における動作を説明するための図である。

【図4】図2に示したステップS3における動作を説明するための図である。

【図5】図2に示したステップS3における動作を説明するための図である。

【図6】図2に示したステップS3における動作を説明するための図である。

【図7】図2に示したステップS6における動作を説明するための図である。

【図8】本発明の第1の複数画像の対応点抽出方法の第2の実施例を説明するための図である。

【図9】図8に示したステップS14における動作を説明するための図である。

【図10】図8に示したステップS16における動作を説明するための図である。

【図11】図8に示したステップS16における動作を説明するための図である。

【図12】本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法の

基本概念を説明するためのフローチャートである。

【図13】図12に示したステップS24における動作を説明するための図である。

【図14】本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法の第2の実施例における初期画面の作成に際しての初期値の選び方を説明するための図である。

【図15】本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法の第2の実施例において作成される初期画面の一例を示すための図である。

【図16】本発明の第2の複数画像の対応点抽出方法の第3の実施例において作成される初期画面の一例を示すための図である。

【図17】最終的に得られる視差ラインの一例を示すための図である。

【図18】距離画像を求めるために用いられる三角測量を説明するための図である。

【図19】図18に示した三角測量において、右側カメラの光軸と左側カメラの光軸とがそれぞれ基線に対して垂直である場合の物体上の一点の座標を説明するための図である。

【図20】図18に示した三角測量において、右側カメラの光軸と左側カメラの光軸とがそれぞれ基線に対して角度（輻湊角）をもっている場合の上の一点の座標を説明するための図である。

【図21】協調アルゴリズムを説明するための図である。

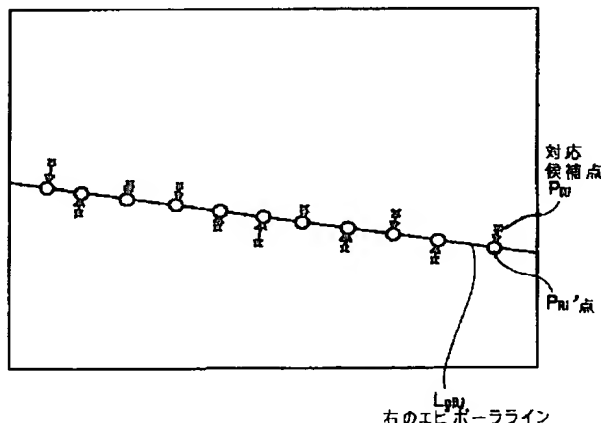
【図22】視差ラインを説明するための図である。

【図23】視差ラインを説明するための図である。

【図24】視差ラインと距離との関係を説明するための図である。

【図25】視差ラインと距離との関係を説明するための図である。

【図1】



\* 【図26】視差ラインと距離との関係を説明するための図である。

【図27】視差ラインと距離との関係を説明するための図である。

【図28】視差ラインと距離との関係を説明するための図である。

【図29】Juleszのランダムドットステレオグラムのように極めて類似した画像に変換された二枚の二値画像に対して協調アルゴリズムにより対応点抽出を行う例を説明するためのフローチャートである。

【図30】協調アルゴリズムにおける左右のエピポーララインの配置を示す図である。

【図31】協調アルゴリズムにおける初期画面の作成方法を説明するための図である。

【図32】協調アルゴリズムにおける実画素に基づく興奮性結合および抑制性結合の範囲を説明するための図である。

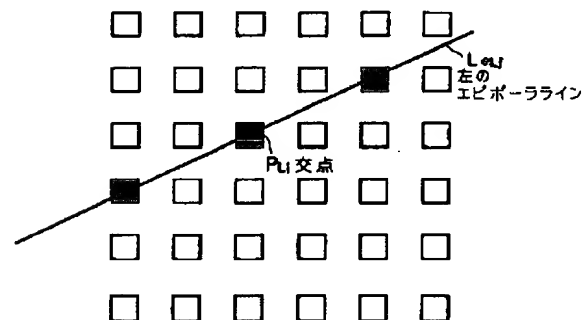
【図33】二値出力の閾値関数の一例を示す図である。

【図34】一組のエピポーララインの抽出方法を説明するための図である。

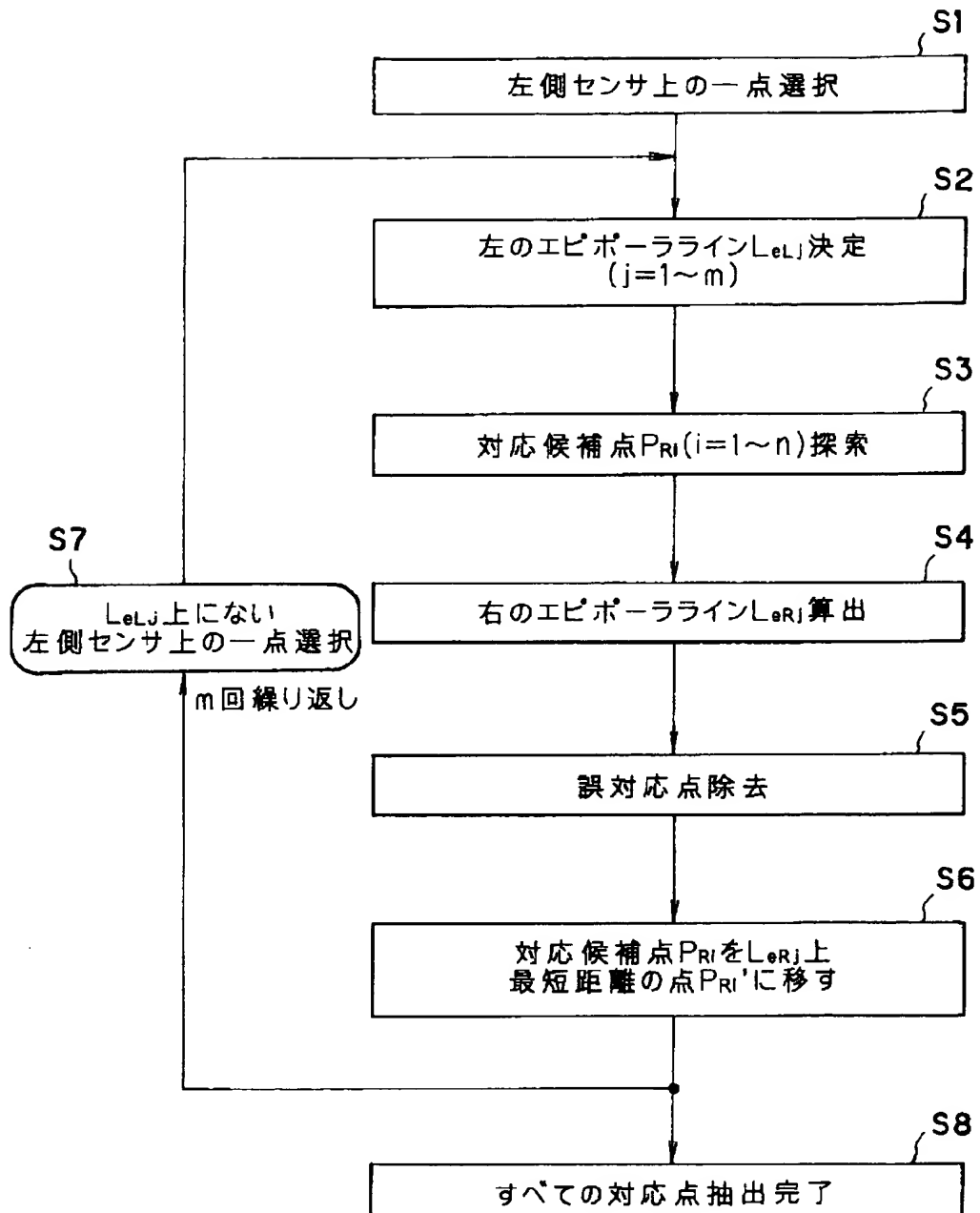
【符号の説明】

- 1 1<sub>L</sub>, 1 2<sub>L</sub> 左端
- 1 1<sub>R</sub>, 1 2<sub>R</sub> 右端
- 2 0, 4 0, 5 0 初期画面
- 3 0 通常初期値に基づく初期画面
- 6 0 視差ライン
- L<sub>elj</sub>, L<sub>el</sub> 左のエピポーラライン
- L<sub>erj</sub>, L<sub>er</sub> 右のエピポーラライン
- P<sub>ri</sub> 対応候補点
- P<sub>Li</sub> 交点
- P<sub>ri</sub>' 点
- X<sub>R</sub>, Y<sub>R</sub> 座標軸

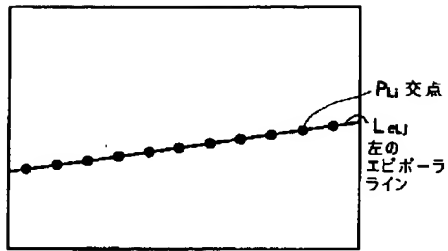
【図3】



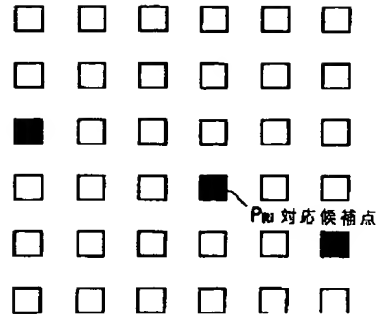
【図2】



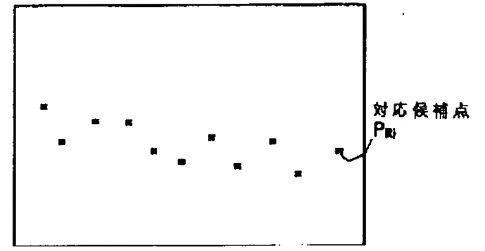
【図4】



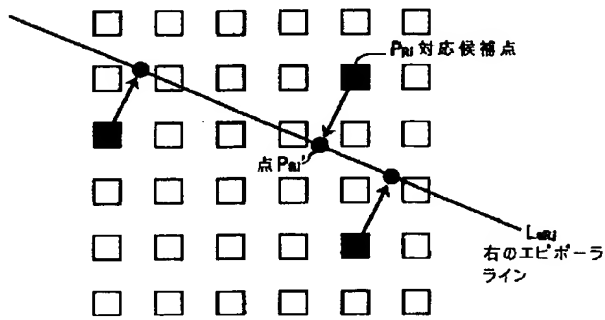
【図5】



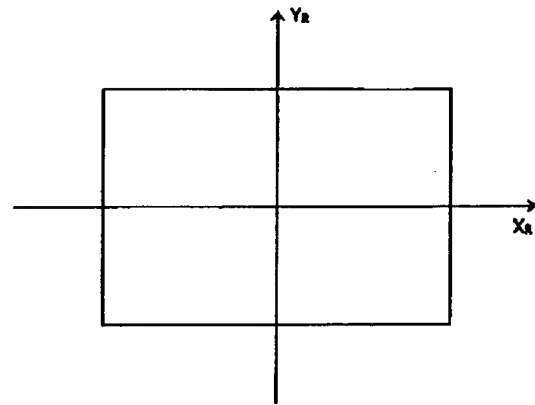
【図6】



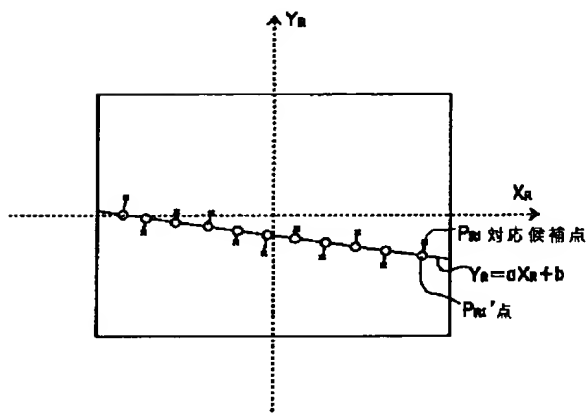
【図7】



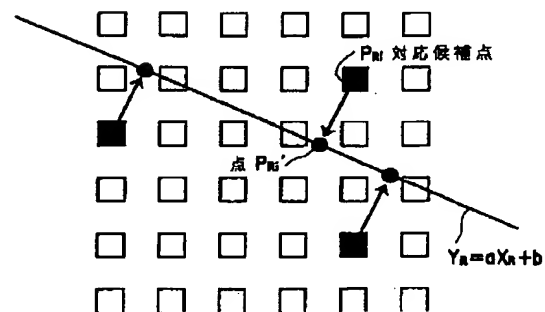
【図9】



【図10】

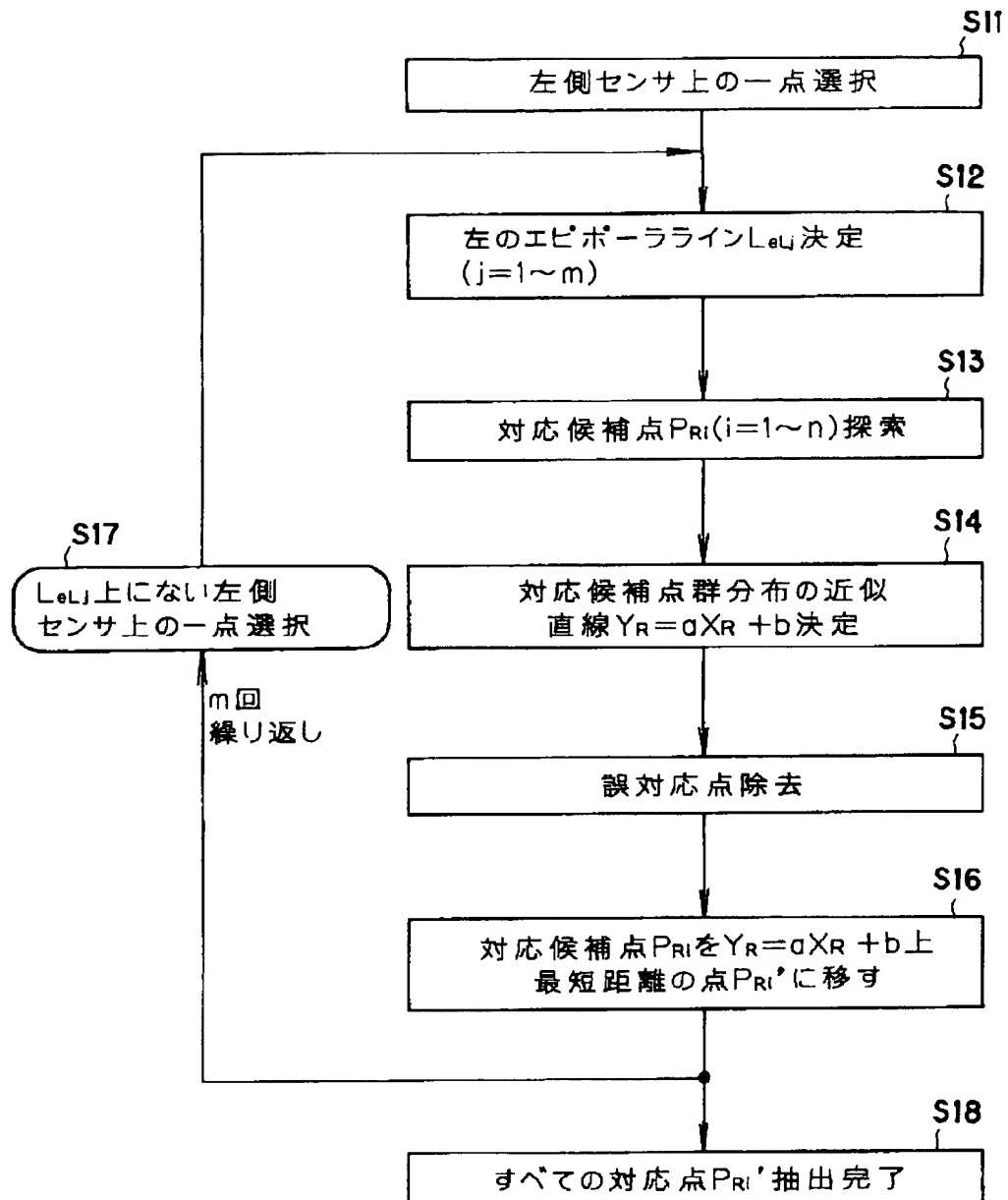


【図11】

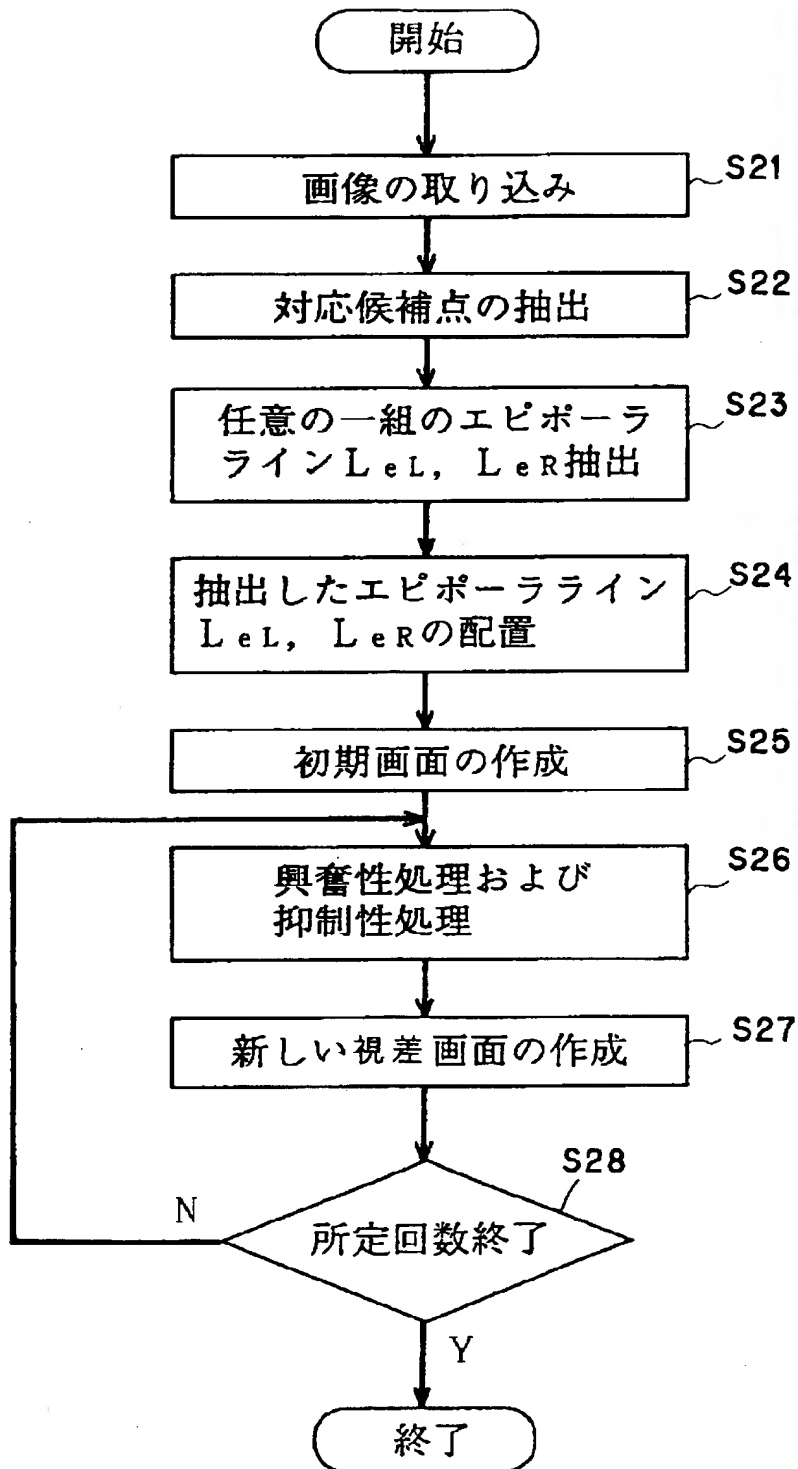




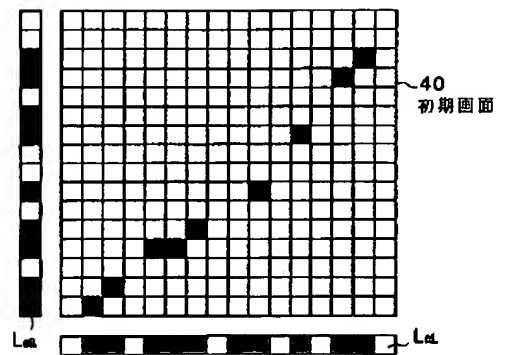
【図8】



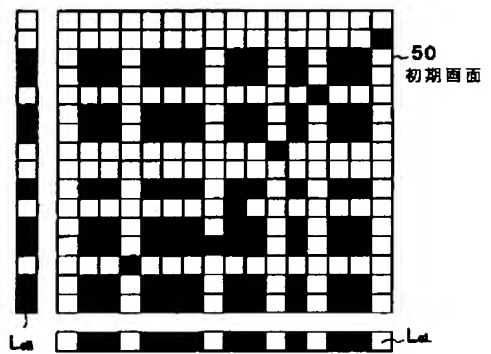
【図12】



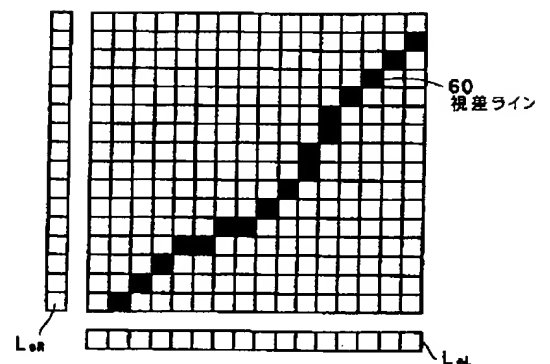
【図15】



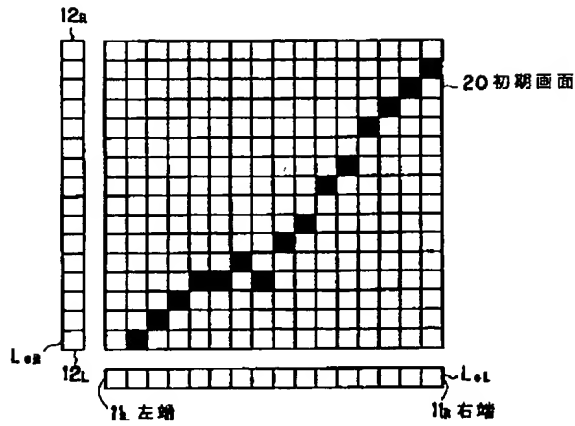
【図16】



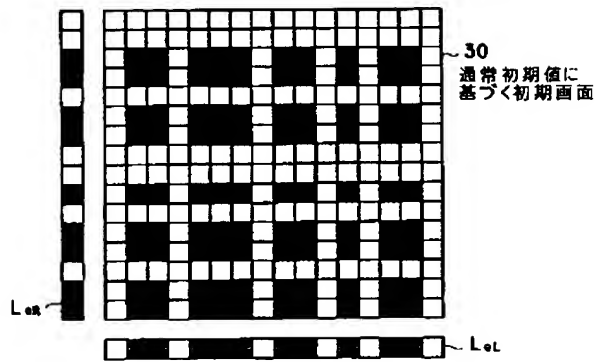
【図17】



【図13】

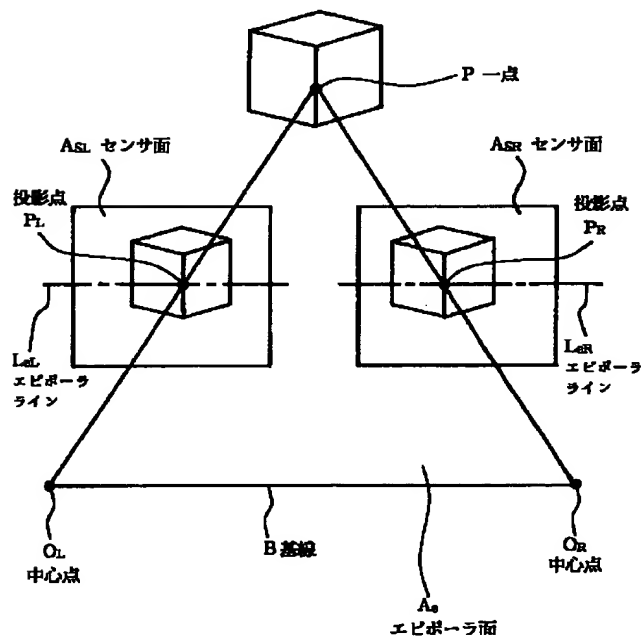


【図14】

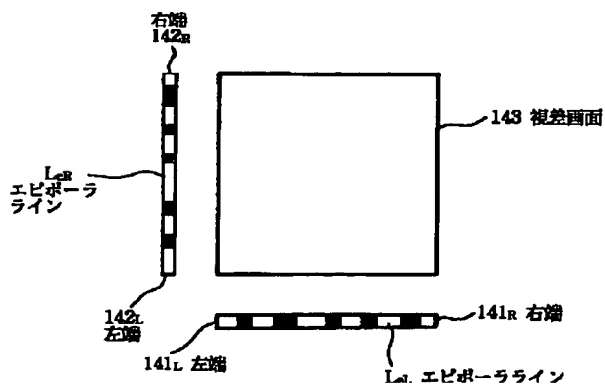


【図19】

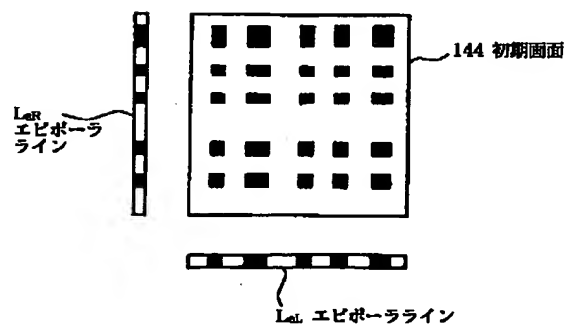
【図18】



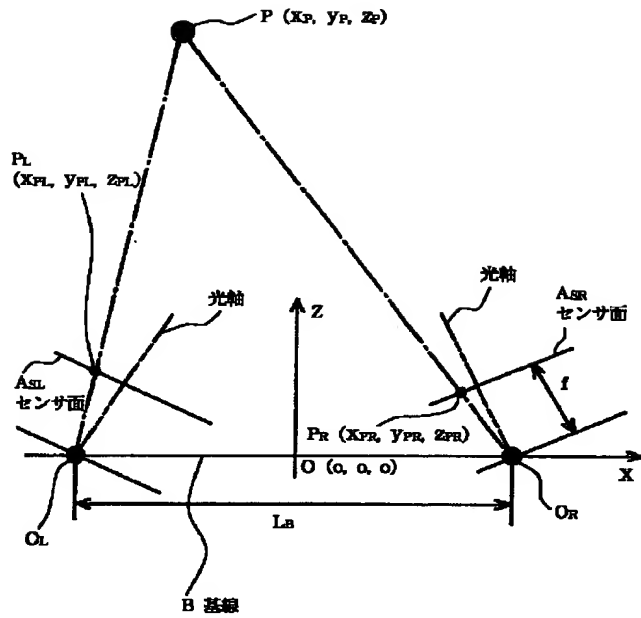
【図30】



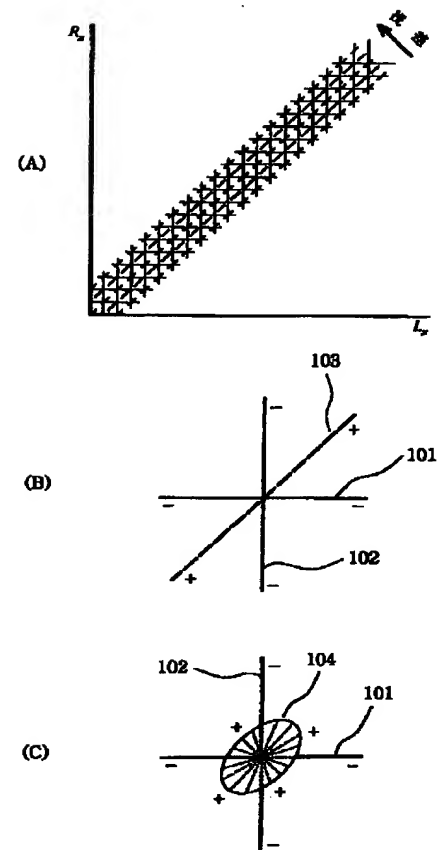
【図31】



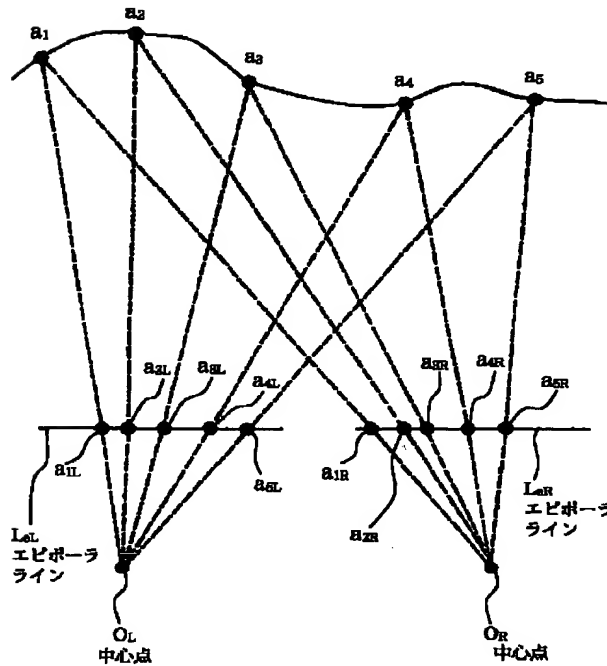
【図20】



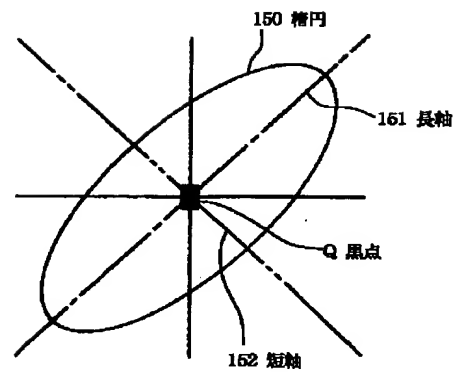
【図21】



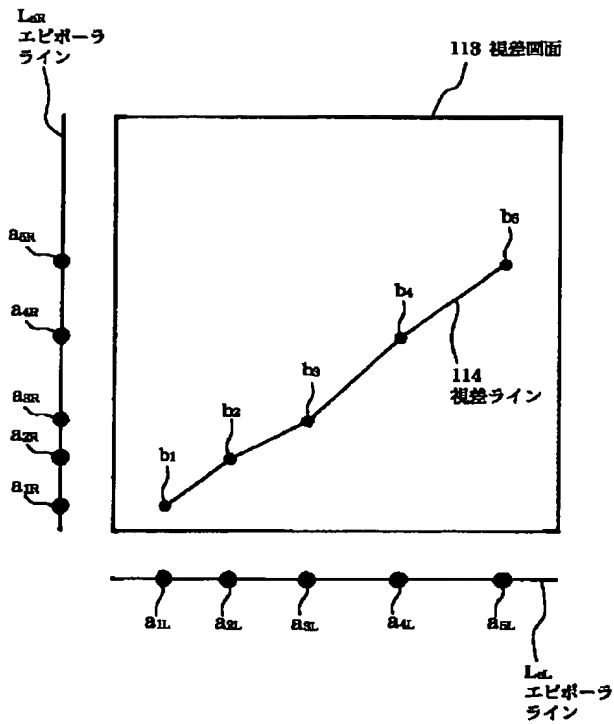
【図22】



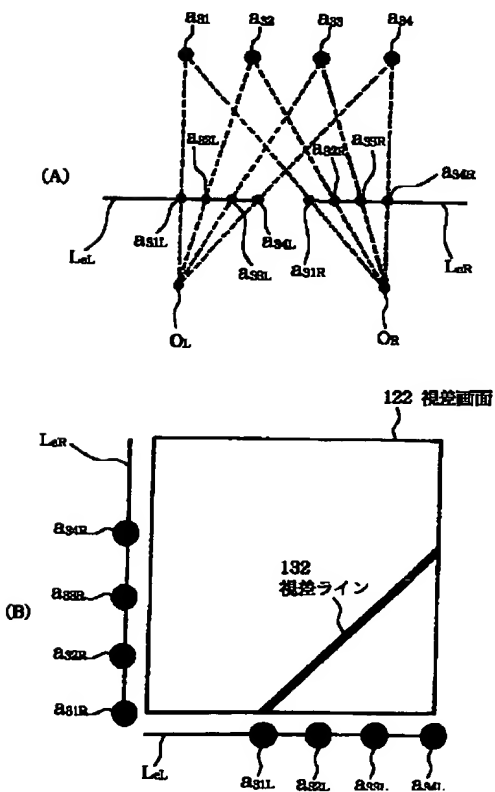
【図32】



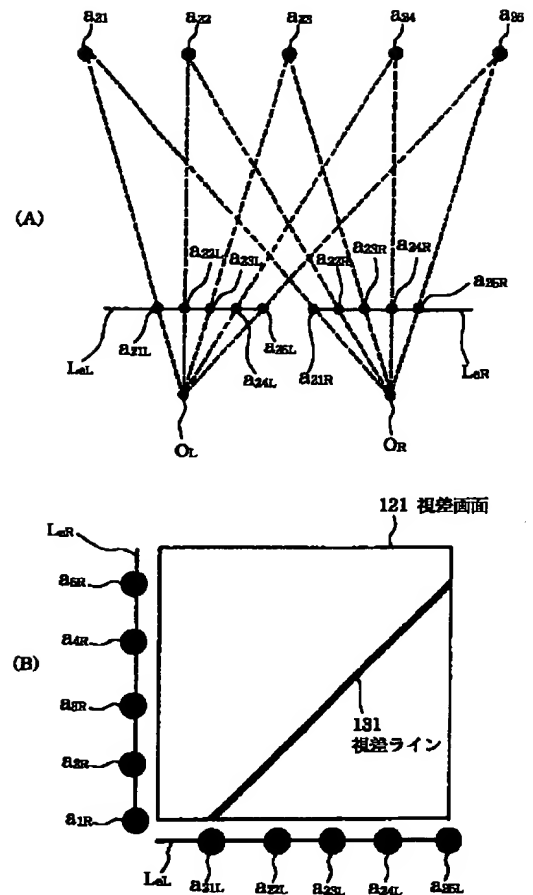
【図23】



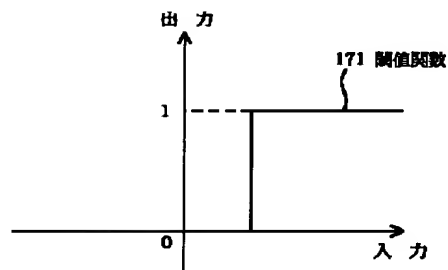
【図25】



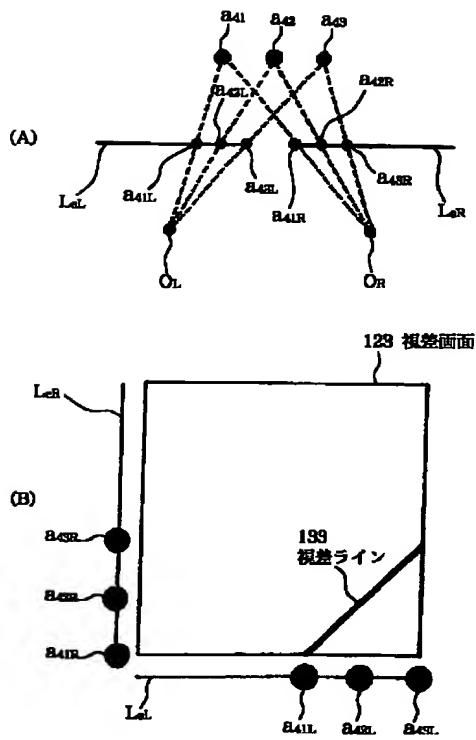
【図24】



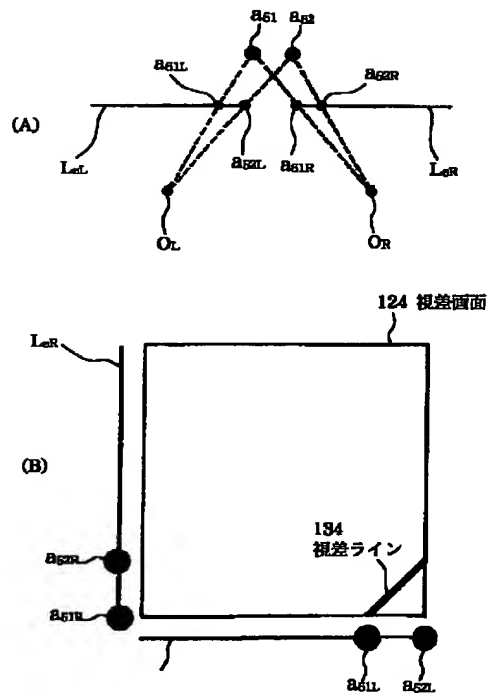
【図33】



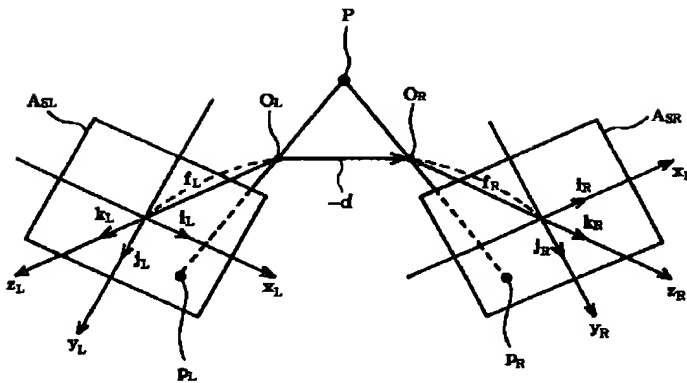
【図 26】



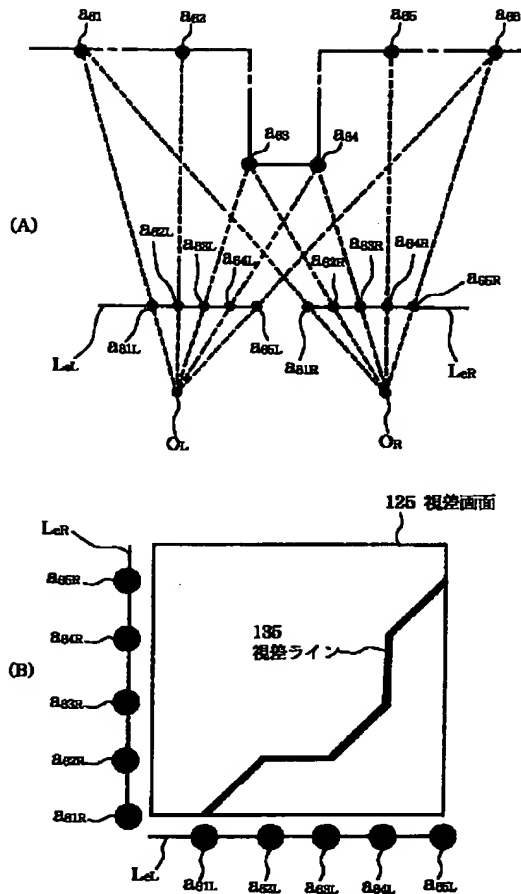
【図 27】



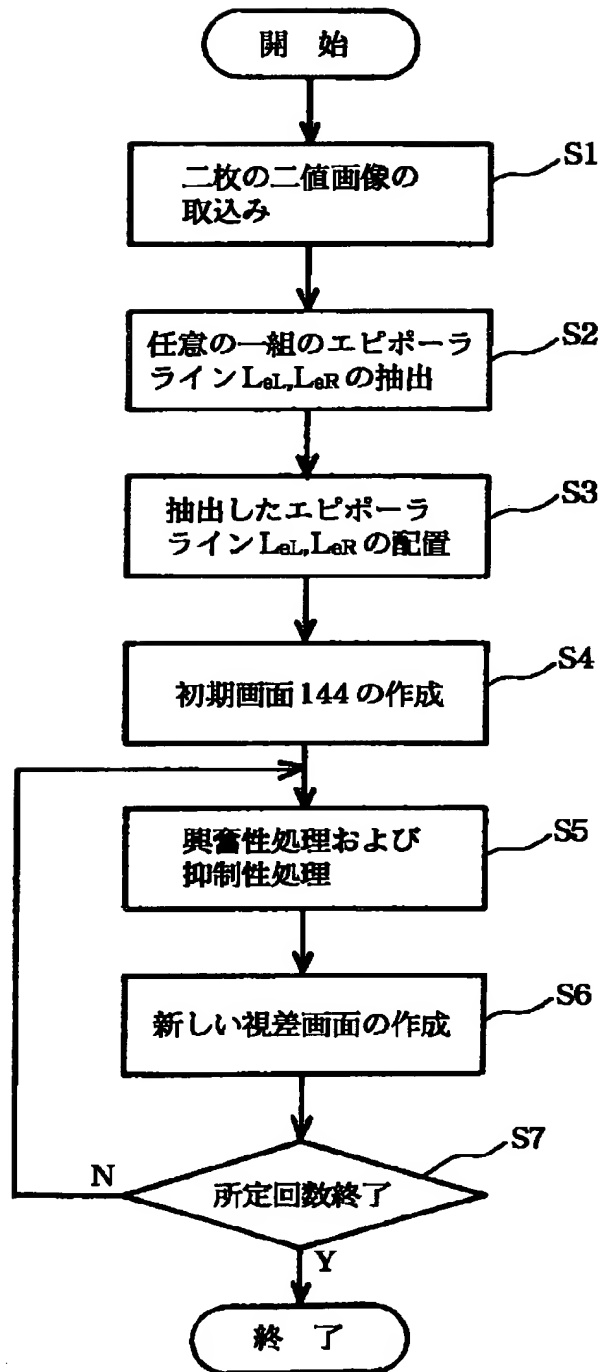
【図 34】



【図 28】



【図 29】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**